

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002167223

PUBLICATION DATE : 11-06-02

APPLICATION DATE : 28-11-00

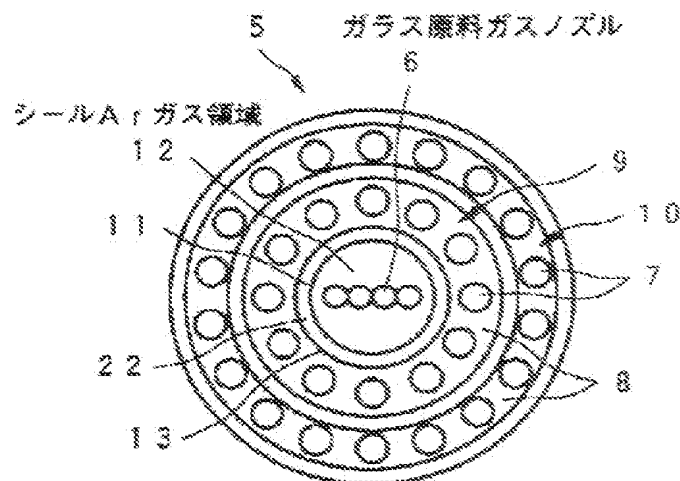
APPLICATION NUMBER : 2000365776

APPLICANT : HITACHI CABLE LTD;

INVENTOR : KAWASE KENJI;

INT.CL. : C03B 8/04 // C03B 37/018

TITLE : BURNER FOR SYNTHESIZING
POROUS GLASS BASE MATERIAL
AND MANUFACTURING METHOD FOR
POROUS GLASS BASE MATERIAL



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for manufacturing a porous glass base material in a short time by increasing buildup efficiency and synthesizing velocity drastically.

SOLUTION: In a burner for synthesizing the porous glass base material in which a raw material gas for glass is ejected from the center nozzles and flame is formed by oxygen gas and hydrogen gas blown from the outside periphery to produce fine glass powders by hydrolysis reaction or thermooxidation reaction, the center nozzle is composed of a plurality of glass raw material gas nozzles 6, and each of them is arranged in one line to the moving direction of the glass target rod 2 or the burner.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-167223
(P2002-167223A)

(43) 公開日 平成14年6月11日 (2002.6.11)

(51) Int.Cl.

識別記号

FI

ナコード*(参考)

C03B 8/04

C03B 8/04

C 4G014

C 4G021

// C03B 37/018

37/018

C

審査請求 未請求 請求項の数6 O/L (全9頁)

(21) 出願番号 特願2000-365776(P2000-365776)

(22) 出願日 平成12年11月28日 (2000.11.28)

(71) 出願人 000005120

日立電線株式会社

東京都千代田区大手町一丁目6番1号

(72) 発明者 川瀬 賢司

茨城県日立市日高町5丁目1番1号 日立

電線株式会社日立工場内

(74) 代理人 100116171

弁理士 川瀬 茂

Fターム(参考) 4C014 AH16

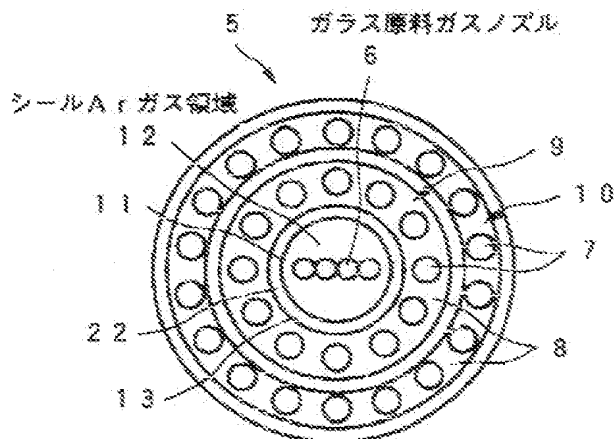
4C021 EA03 EB15

(54) 【発明の名称】 多孔質ガラス母材合成用バーナ及び多孔質ガラス母材の製造方法

(57) 【要約】

【課題】堆積効率及び合成速度を飛躍的に向上させ、短時間で多孔質ガラス母材製造することを可能にする。

【解決手段】中心ノズルからガラス原料ガスを噴出すると共に、その外周から酸素ガスと水素ガスの火炎を生成し、加水分解反応または熱酸化反応させてガラス微粒子を生成する多孔質ガラス母材合成用バーナにおいて、前記中心ノズルを複数本のガラス原料ガスノズル6により構成し、各ガラス原料ガスノズル6をガラスターゲット棒2またはバーナが移動する方向に1列に配置する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】中心ノズルからガラス原料ガスを噴出すると共に、その外周から酸素ガスと水素ガスの火炎を生成し、加水分解反応または熱酸化反応させてガラス微粒子を生成する多孔質ガラス母材合成用バーナにおいて、前記中心ノズルを複数本のガラス原料ガスノズルにより構成し、各ガラス原料ガスノズルをターゲットまたはバーナが移動する方向に1列に配置したことを特徴とする多孔質ガラス母材合成用バーナ。

【請求項2】請求項1記載の多孔質ガラス母材合成用バーナにおいて、前記複熱本のガラス原料ガスノズルを一括して不活性ガスノズルの内部に設置したことを特徴とする多孔質ガラス母材合成用バーナ。

【請求項3】請求項1又は2記載の多孔質ガラス母材合成用バーナにおいて、前記1列に配置した各ガラス原料ガスノズルの内径を、初期ターゲット径aと最終径bから、次式

平均含碳量度 $[g/m^2] = \frac{1}{a-b} \int_a^b f(x) dx$

の平均合成速度が最大となるように設定したことを特徴とする多孔質ガラス基材合成用バーナ。

【請求項４】多孔質ガラス母材合成用バーナの中心ノズルからガラス原料ガスを噴出すると共に、その外周から酸素ガスと水素ガスの炎を生成し、加水分解反応または熱酸化反応させてガラス微粒子を生成し、これを光ファイバのコア部を含む回転するターゲットに対して相対的に軸方向に沿って往復運動させながら、ターゲットの外周へ所定の径になるまで吹き付けて堆積させる多孔質ガラス母材の製造方法において、

前記多孔質ガラス母材合成用バーナとして、前記中心ノズルを複数本のガラス原料ガスノズルにより構成し、各ガラス原料ガスノズルをターゲットまたはバーナが移動する方向に１列に配置したバーナを用いることを特徴とする多孔質ガラス母材の製造方法。

【請求項5】請求項4記載の多孔質ガラス母材の製造方法において、前記機軸本のガラス原料ガスノズルの周りに不活性ガスを噴出し、そのバーナ先端にガラス微粒子の付着を防ぐことを特徴とする多孔質ガラス母材の製造方法。

【請求項6】請求項4又は5記載の多孔質ガラス母材の製造方法において、前記多孔質ガラス母材合成用バーナとして、前記複数本のガラス原料ガスのノズルの内径を、初期ターゲット径から最終径まで堆積したとき、平均合成速度が最大となるように設計したバーナを用いることを特徴とする多孔質ガラス母材の製造方法

【各明の詳細な説明】

100011

【発明の属する技術分野】本発明は、ガラス原料ガスを酸素ガスと水素ガスを用いた加水分解反応または熱酸化反応させガラス微粒子を生成するための多孔質ガラス母材合成用バーナ及び多孔質ガラス母材の製造方法に係り、詳しくは、外付けVAD法による光ファイバ用母材の製造方法において、多孔質ガラス微粒子を効率良く堆積させ、所定径のスト母材を短時間で製造する光ファイバ用母材の製造時に使用する多孔質ガラス母材合成用バーナに関するものである。

100029

【従来の技術】光ファイバを製造するための多孔質ガラス母材合成技術として、次のものがある。すなわち、バーナから支燃性ガス（例えば、酸素ガス）と可燃性ガス（例えば水素ガス）を噴出し、火炎を形成させ、火炎中にガラス原料ガス（たとえば、四塩化硅素や四塩化ゲルマニウム）を供給し、火炎加水分解反応または熱酸化反応によりガラス微粒子を生成する。この生成されたガラス微粒子を光ファイバのコア部を含む、ガラスターゲット棒に所定の径になるまで吹き付ける。この方法は、外付けVAD法といい、生産性が優れた多孔質ガラス母材合成技術である。

【0003】このような、外付けVAD法で使用されるバーナは、従来、1本の中心ノズルからガラス原料ガス（たとえば四塩化硅素）を噴出し、その外周から酸素ガスと水素ガスの火炎を生成する構造になっている。この構造には、中心ノズルの周囲にバーナ中心と同心円状に複数設置したポートから酸素ガス、水素ガス、不活性ガスを噴出するたとえば9重管バーナ等の多重管バーナ型（多重管構造）や、中心ノズルの周囲に複数の小口径の酸素噴出ポートを配設したいわゆるマルチバーナ型などがある。

(0004)

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような中心ノズル（原料ガスノズルと同意）1本から原料ガスを供給するバーナの場合、その多孔質ガラス母材の合成速度〔g/min〕（1分あたりに堆積するSiO₂の重量）は、原料ガスノズル径が大きすぎると、出発母材であるターゲットが細い場合、原料ガスがターゲットに当たらず逃げてしまい、無駄に原料ガスを捨てていることになる。

【0005】それとは逆に、原料ノズル径が小さすぎる場合、ガスの流れが大きくなりすぎ、原料ガスノズルから噴出した原料ガスが加水分解反応する距離が小さくなり、合成速度は飽和し、堆積効率（噴出した原料ガス量に対して付着した SiO_2 の比）を低下させ、スート径（スートとは多孔質ガラス微粒子である）を所定径まで増加させるのに大変時間がかかる。

【0006】さらに、付着しなかったガラス微粒子が、反応チャンパー内に浮遊し、その浮遊したガラス微粒子が再度、ターゲット棒に付着し、気泡などのガラス欠陥

を引き起こす。また、浮遊したガラス微粒子は温度が低いため、多孔質ガラス母材の高密度（単位堆積当たりの多孔質ガラス微粒子の重量）を急激に下げ、クラックを発生させる。また、粉塵除去装置（例えばスクラパー）で除去しなければならないガラス微粒子が多く、粉塵除去装置の負担やこの除去にかかわるランニングコストも大変大きくなる。

【0007】光ファイバの低コスト化を図るためには、スト径を所定径まで増加させるのに必要な堆積時間を短縮し、供給したガラス原料ガスを効率良く堆積させることや、気泡、クラックなどのガラス欠陥をなくすることが重要となる。

【0008】以上のことをまとめると、従来技術の問題点は次のようになる。(1) 飽和スト径までの堆積効率および合成速度が小さいため、堆積時間がかかる。(2) 付着しなかったSiO₂粉が浮遊し、気泡やクラックの原因となる。(3) 上記(1)のため、除去すべきSiO₂粉が多く、粉塵除去装置の負担及びランニングコストが大きくなる。

【0009】そこで、本発明の目的は、上記課題を解決し、堆積効率及び合成速度を飛躍的に向上させ、短時間で多孔質ガラス母材製造することを可能とすること、また、堆積効率を向上させることで、気泡やクラックの原因となる付着しなかったガラス微粒子を最小限に少なくし、光ファイバ特性を向上させることにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明は、次のように構成したものである。

【0011】(1) 請求項1の発明に係る多孔質ガラス母材合成用バーナは、中心ノズルからガラス原料ガスを噴出すると共に、その外周から酸素ガスと水素ガスの火炎を生成し、加水分解反応または熱酸化反応させてガラス微粒子を生成する多孔質ガラス母材合成用バーナにおいて、前記中心ノズルを複数本のガラス原料ガスノズルにより構成し、各ガラス原料ガスノズルをターゲットまたはバーナが移動する方向に1列に配置したことを特徴とする。

【0012】本発明の多孔質ガラス母材合成用バーナには、ガラス原料ガス噴出用の中心ノズルの周囲にバーナ中心と同心円状に複数設置したポートから酸素ガス、水素ガス、不活性ガスを噴出する多重管バーナ型や、中心ノズルの周囲に複数の小口径の酸素噴出ポートを配設したいわゆるマルチバーナ型など、そのいずれの形態も含まれる。

【0013】(2) 請求項2の発明は、請求項1の多孔質ガラス母材合成用バーナにおいて、前記複数本のガラス原料ガスノズルを一括して不活性ガスノズルの内部に設置したことを特徴とする。

【0014】この不活性ガスノズル（不活性ガス噴出ノズル）を設ける理由は、バーナ先端にガラス微粒子が付

着するのを防ぐためであり、バーナの中心と同心的に形成した円筒状のポート又は非円筒状のポートとして設けても良いし、バーナの中心と同心的に形成した円環状のポート又は非円環状のポートとして設けても良い。いずれの形態においても、不活性ガス噴出ノズルは、各々のガラス原料ガスノズルと同心円状に設置していない形態になる。

【0015】(3) 請求項3の発明は、請求項1又は2の多孔質ガラス母材合成用バーナにおいて、前記1列に配置した各ガラス原料ガスノズルの内径を、初期ターゲット径aと最終径bから、次式

【0016】

【数2】

$$\text{平均合成速度 [g/min]} = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx$$

【0017】の平均合成速度が最大となるように設定したことを特徴とする。

【0018】(4) 請求項4の発明に係る多孔質ガラス母材の製造方法は、多孔質ガラス母材合成用バーナの中心ノズルからガラス原料ガスを噴出すると共に、その外周から酸素ガスと水素ガスの火炎を生成し、加水分解反応または熱酸化反応させてガラス微粒子を生成し、これを光ファイバのコア部を含む回転するターゲットに対して相対的に軸方向に沿って往復運動させながら、ターゲットの外周へ所定の径になるまで吹き付けて堆積させる多孔質ガラス母材の製造方法において、前記多孔質ガラス母材合成用バーナとして、前記中心ノズルを複数本のガラス原料ガスノズルにより構成し、各ガラス原料ガスノズルをターゲットまたはバーナが移動する方向に1列に配置したバーナを用いることを特徴とする。

【0019】(5) 請求項5の発明は、請求項4記載の多孔質ガラス母材の製造方法において、前記複数本のガラス原料ガスノズルの周りから不活性ガスを噴出し、そのバーナ先端にガラス微粒子の付着を防ぐことを特徴とする。

【0020】(6) 請求項6の発明は、請求項4又は5記載の多孔質ガラス母材の製造方法において、前記多孔質ガラス母材合成用バーナとして、前記複数本のガラス原料ガスノズルの内径を、初期ターゲット径から最終径まで堆積したとき、平均合成速度が最大となるように設計したバーナを用いることを特徴とする。

【0021】＜発明の要点＞本発明の要点は、多孔質ガラス母材合成用バーナのガラス原料ガスノズルを1列に配置し、その列の方向を、ターゲットまたはバーナが移動する方向と同じとすることにある。

【0022】このようにすることにより、(i) 出発母材であるターゲットが細い場合、原料ガスノズル径が大きすぎるために、原料ガスがターゲットに当たらず逃げて

しまうという不都合を回避できると共に、(ii)逆に、原料ノズル径が小さすぎる場合、ガスの流れが大きくなりすぎ、原料ガスノズルから噴出した原料ガスが加水分解反応する距離が小さくなり、合成速度が飽和し堆積効率を低下させる、という不都合を回避することができる。

【0023】従って、本発明のバーナを使用することにより、堆積効率及び合成速度を向上させて、作業時間（堆積時間）の短縮を図ることができる。

【0024】また、堆積効率が向上したことで、反応チャンバに浮遊したガラス微粒子の再付着がなくなり、気泡やクラックの発生がない光ファイバ用母材を製造することができる。

【0025】また本発明の他の要点は、堆積中にバーナの原料ガスノズルから噴出される四塩化珪素がノズルから出た瞬間、加水分解反応し生成されたガラス微粒子がバーナ先端に付着するのを防ぐために、前記複数本の原料ガスノズルを一括して不活性ガスノズルの内部に設置する点にある。この形態としては、通常の形態として、原料ガスノズルの周りに、原料ガスノズルと同心円状に円環状のポート（図6の円環状のポート21参照）を設け、そこから不活性ガス（例えば、Ar）を噴出する形態とすることができる。しかし、本発明では複数本の原料ガスノズルを使用していることから、好ましくは、複数本の原料ガスノズルを一括して円筒状又は非円筒状の不活性ガスノズルの内部に設置する形態とするのが良い（図1参照）。いずれの形態においても、本発明の場合、そのバーナ先端にガラス微粒子が付着するのを防ぐための不活性ガス噴出ノズルは、各々の原料ガスノズルと同心円状に設置していない点に特徴がある。

【0026】さらに本発明の他の要点は、複数の原料ガスノズルの内径を、初期ターゲット径 a [mm] から最終径 b [mm] まで堆積したとき、平均合成速度が最大となるように設計した点にある。下記式

【0027】

【数3】

$$\text{平均合成速度 [g/min]} = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx$$

【0028】が最大となるように設計することがポイントである。

【0029】＜発明の補足説明＞本発明は、原料ガスノズルをターゲットまたはバーナの移動方向に沿って1列に配置したものであり、この数は多い方が有効である。その合成速度は、このノズル数に比例して大きくなり、さらに堆積時間の短縮が図れる。また、本発明で使用する不活性ガスノズルの形状は円が基本であるが、楕円や四角でもかまわない。また、バーナ全体の形状についても同様に楕円や四角でも同じ効果が得られる。

【0030】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図示の実施形態に基づいて説明する。

【0031】図4に、本実施形態の光ファイバ母材の製造方法で採用した外付けVAD法を示す。この方法は、図4に示すように、光ファイバのコア部にあたるコアガラスまたはそのコアガラスと一部クラッドを含んだガラスターゲット棒2を出発部材（ターゲット）として、そのガラスターゲット両端をチャック1にて固定し、その軸の周りに回転させる。一方、1本あるいは複数本のスート生成用バーナ5へ原料ガスである四塩化珪素と燃料ガスである水素、助燃料ガスである酸素を供給し、そのバーナ5から燃焼炎4とともにガラス微粒子を吹き付ける。回転するターゲットの外周へガラス微粒子を堆積させながら、ガラスターゲット棒2とバーナ5を相対的にターゲットの軸方向に沿って往復運動、すなわちトラバースさせて、多孔質スート母材3を堆積するものである。このトラバースの速度は、往復運動の往路と復路の速度は同じでも異なってもよい。

【0032】図5（a）（b）にスート径 x [mm] に対する合成速度 y [g/min] のグラフを示す。合成速度とは、単位時間あたり付着する SiO_2 の重量である。 $y(x)$ のグラフからもわかるように、それぞれのバーナでスート径がある径（飽和スート径）に達したとき、それ以上のスート径では合成速度があまり変化しない飽和状態（飽和合成速度）となる領域がある。この飽和し始めるスート径を「飽和スート径」と定義する。また、この飽和スート径以上での飽和した合成速度を「飽和合成速度」と定義する。この飽和スート径 X_s は、図5（a）に示すように、 $y(x)$ の曲線の立ち上がりの原点からの接線Aと、飽和合成速度 Y_s の値（20 g/min）の直線Bとに着目し、両者が交わる点Cに対応するスート径 X_s として求められる。図示の場合、飽和スート径 X_s は直径約90mmである。

【0033】ところで、上述したとおり、多孔質ガラス母材を初期ターゲット径 a [mm] から最終径 b [mm] まで堆積するまでの平均合成速度は、任意のターゲット径での合成速度を $f(x)$ とすると、次式で求められる。

【0034】

【数4】

$$\text{平均合成速度 [g/min]} = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx$$

【0035】但し、初期ガラスターゲット径を a [mm] とし、堆積後の最終径を b [mm] とする。

【0036】上式を見てもわかるように、 $f(x)$ と x 軸及び上式で表されている積分範囲で囲まれる面積が大きいほど、1本の多孔質ガラス母材を堆積するまでの平均合成速度が大きく、堆積時間が早い。言い換えば、

供給したガラス原料ガスに対して効率良く堆積するということである。

【0037】したがって、投入したガラス原料ガスを無駄なく効率的に堆積させ、堆積時間を短縮するためには、飽和スト径 X_s を小さくし、且つ飽和合成速度 Y_s を大きくすれば良いことがわかる。

【0038】そこで、この重要なパラメータである飽和スト径 X_s と飽和合成速度 Y_s がガラス原料ガスノズル径に対してどのように変化するかを調べた。

【0039】＜比較例1～4、図6＞比較例として、図6に示すように、中心ノズルが1本のガラス原料ガスノズル6から成る構成のバーナを試作し実験に用いた。その1本の中心ノズルからガラス原料ガスである四塩化珪素を供給し、そのガラス原料ガスノズル6の周りにバーナ中心と同心円状に複数本の小さな径の酸素ノズル（複数の小口径の酸素噴出ポート）7を設け、そこから酸素を噴出させた。また、水素はその複数本の小さな径の酸素ノズル7の周りの隙間から成るポート8から噴出させた。

【0040】さらに、この酸素水素の噴出構造を、内側層ノズル9と、外側層ノズル10の2重構造とした。2重構造にした理由は次の通りである。すなわち、(i)堆積している多孔質ガラス母材が細いときは、内側の酸素、水素のみで加水分解反応をさせ、徐々に増加する多孔質ガラス母材の径に従い外側の酸素、水素を噴出し、多孔質ガラス母材の微粒子の濃密度の低下を防ぐ。(ii)さらに、複数本の多孔質ガラス母材生成用バーナを横並びにしたときに、火炎の干渉をできる限り抑え、堆積効率を向上させるためである。ただし、本実験では、ガラス原料ガスノズルによる堆積効率及び合成速度の関係を明らかにするため、堆積初期から内側と外側から酸素、水素ガスを噴出し、加水分解反応をさせた。

【0041】また、中心のノズル6からガラス原料ガスである四塩化珪素、その中心ノズル6の周りに同心円状に円環状のポート21、22を設け、円環状のポート21からはバーナ先端に多孔質ガラス微粒子の付着を防ぐために、不活性ガスであるアルゴンガス（内側シール A_r ）を噴出させた。また最後に最外周の円環状のノズル（ポート22）からもアルゴンガス（外側シール A_r ）を噴出させた。

【0042】次に、上記図6の構成において、中心にある1本のガラス原料ガスノズル6のノズル径を2mmφ、3mmφ、4mmφ、6mmφと変化した構造のバーナを作成し、これらを比較例1～比較例4とした。そして、これらを使用し、堆積中徐々に増加する多孔質ガラス母材（スト径）に対する合成速度 $[g/min]$ を比較した。

【0043】ただし、これらのバーナ構造は、ガラス原料ガスノズル6の径以外は全て寸法、構造ともに同じとし、さらに堆積時に使用した水素ガス、酸素ガス、不活

性ガス及び四塩化珪素ガスの流量も同じにした。さらに、それらのガス流量は、徐々に増加する多孔質ガラス母材の径によらず、一定にした。具体的には、四塩化珪素 $=4.2 \times 2 [g/min]$ 、内側酸素 $=1.7 \times 2 [l/min]$ 、内側水素 $=3.2 \times 2 [g/min]$ 、外側酸素 $=1.8 \times 2 [l/min]$ 、外側水素 $=3.8 \times 2 [l/min]$ 、四塩化珪素を搬送するためのキャリア $A_r=0$ 、 $3 \times 2 [l/min]$ 、内側シール $A_r=1 [l/min]$ 、外側シール $A_r=1.5 [l/min]$ とした。また、ターゲットの回転数および、バーナとターゲットの相対移動速度は、それぞれ40rpmと120mm/minに固定した。

【0044】実験は出発ターゲットに10mmφの石英棒を使用し、長さ2000mm、径220mmφのスト母材を製造した。そして、付着したガラス微粒子の重量を測定しながら堆積させ、その重量より合成速度（1分あたりに堆積する SiO_2 の重量）を計算した。その結果を図7に示す。

【0045】図7を見ても分かるように、飽和合成速度は、ガラス原料ガスノズル径がφ2、φ3、φ4、φ6（mm）と大きくなるにつれて増加している。これは、ガラス原料ガスノズル6の径が大きくなることで、原料ガスの流速が小さくなり、バーナから噴出した原料ガスが反応する距離が長くなり、ガラス微粒子生成に必要な距離が十分あるからである。

【0046】しかしながら、ガラス原料ガスノズルの径が大きいほど合成速度が飽和し始める径が大きい。即ち、飽和スト径が大きい。言い換えば、ターゲット径が細い（スト径が細い）ときは堆積効率が悪いということを表している。このことは、原料ガスノズルから噴出した原料ガスの広がりが大きく、火炎と反応して生成されたガラス微粒子の一部がターゲットに当たらず逃げてしまい、ガラス微粒子を無駄に捨てているからである。

【0047】最終的な多孔質ガラス母材の径になるまで堆積効率（平均堆積効率）を良くし、平均合成速度を大きくするためには、飽和合成速度が高いだけでなく、ターゲット径（スト径）が細いときの合成速度も重要になる。即ち、飽和スト径を小さくすることも重要となる。

【0048】図8に理想的なバーナ特性の方向性を示す。合成速度及び堆積効率を向上させるためには、図8中に矢印で示すように、曲線を左方向にシフトさせ、さらに上矢印の方向へシフトさせることがポイントとなる。

【0049】先の実験から、飽和スト径を小さくするためには、図8のバーナ特性を左矢印方向にシフトさせるべく、ガラス原料ガスノズル径を小さくし、細いときのガラスターゲットにピンポイントでガラス原料ガスを付着させることである。

【0050】さらに飽和合成速度を大きくするために、図8のバーナ特性を上矢印方向にシフトさせるべく、ガラス原料ガスノズル径を大きくすることである。即ち、ガラス原料ガスノズルの断面積を大きくし、ガラス原料ガスの噴出速度（流速）を遅くすることで、ガラス原料ガスの反応距離を長くすることである。

【0051】＜本実施形態のバーナ＞以上のことから、次のようなバーナを発明した。図1に本発明の一実施形態に係るバーナ5の構造を示す。中心ノズル以外は図6と同じ構造である。

【0052】ガラス原料ガス噴出用の中心ノズルの周囲に、バーナ中心と同心円状に複数のポートを形成すべく、円筒状の不活性ガスノズル11、13、酸素ガス及び水素ガス用の円環状の内側層ノズル9、同じく酸素ガス及び水素ガス用の円環状の外側層ノズル10を有する。内側層ノズル9及び外側層ノズル10の構成は図6と同じであり、中心ノズルの周囲、正確には不活性ガスノズル13（ポート22）の周囲に、複数の小口径の酸素噴出ポートから成る酸素ノズル7を周方向に等間隔で配設し、その周囲の隙間から成るポート8から水素を噴出させる構造である。

【0053】ガラス原料ガスノズル6の径は、飽和スト径が小さく、ピンポイントで細いガラスターゲットにガラス微粒子を付着させることができる2mmφ（内径）とし、これを4本、ガラスターゲットまたはバーナの移動する方向に1列に設置した。また、バーナ5を小型化するために、各ガラス原料ガスノズル6はその間隔を空けずに密に設置した。ガラス原料ガスのバーナ5への供給口は1つとし、4本のガラス原料ガス（噴出）ノズル6へ均等にガスを供給するようにした。

【0054】したがって、4本のガラス原料ガスノズル6の総断面積は、バーナ中心に1個のガラス原料ガスノズルが設置してある図6のバーナ形状のノズル径4mmφの断面積と同じである。よって、バーナから噴出するガラス原料ガスの流速が等しくなる。

【0055】これらの一列配置されたガラス原料ガスノズル6は、バーナ先端にガラス微粒子が付着するのを防ぐため、上記円筒状の不活性ガスノズル11の内部のシールAとガス領域12中に一括して設置した。

【0056】上記の如く構成された本発明のバーナを用いて、先の多孔質ガラス母材径（スト径）に対する合成速度の関係を調べた。実験の条件（ガス流量や原料ガスノズル径以外のバーナ構造及び寸法、ターゲット回転数、移動速度）は、先の実験とすべて同じとした。その結果を図2に示す。図2中、実線は本発明のバーナ特性であり、破線は図6のバーナ（ガラス原料ガスノズル径φ4）のバーナ特性である。

【0057】図2からも明らかなように、本発明（実線）のバーナの飽和スト径 X_s （図5参照）は、従来技術（破線）のバーナのそれと比べ、小さくなってい

る。すなわち、従来技術（破線）では飽和スト径 $X_s = x/2$ が約100mmφであるのに対し、本発明バーナでは飽和スト径 $X_s = x/2$ が約20mmφとかなり小さくなっている。

【0058】さらに、飽和合成速度は、本発明バーナからのガラス原料ガス噴出速度（流速）と従来技術のバーナの流速が等しいことから等しくなっている。

【0059】初期のガラスターゲット径を10mmφとし、これを径150mmφまで堆積したとすると、従来技術のバーナの平均合成速度は11.9 [g/min]であるのに対し、本発明のバーナの平均合成速度は16.1 [g/min]と飛躍的に増加している。図6のバーナ構造に対して、約1.35倍向上することができている。この結果、堆積時間（作業時間）を約26%短縮することができた。

【0060】堆積効率（噴出した原料ガス量に対して付着したSiO₂の比）に関しても同様に約1.35倍向上しており、無駄なくターゲットにガラス微粒子を付着することができている。

【0061】本発明のバーナで堆積した多孔質ガラス母材を焼結し、透明ガラス化したものは気泡などのガラス欠陥も認められず、良好な光ファイバガラス母材であった。

【0062】＜他の実施形態＞本発明のバーナは、ガラス原料ガスノズルをターゲットまたはバーナの移動方向に沿って1列に配置したものであり、上記実施形態のように4本を一列配置する場合の他、1列配置する本数を2本、3本、5本、6本等と変更しても本発明所期の効果を奏することができるが、このガラス原料ガスノズルの本数は多い方が有効である。その合成速度は、このノズル数に比例して大きくなり、さらに堆積時間の短縮が図れる。

【0063】また、図1で使用した不活性ガス噴出ノズル（シールAとノズル）11、13の形状は円になっているが、図3に示すように楕円の形状とすることもできるし、四角、五角、六角等の多角形とすることもできる。また、バーナ全体の形状についても同様に楕円や四角、五角、六角等の多角形とすることができ、円形の場合と同じ効果が得られる。

【0064】さらに複数本のガラス原料ガスのノズル径は、上記実施形態では内径2mmφとしたが、初期ガラスターゲットおよび堆積後のスト径により、次式

【0065】

【数5】

$$\text{平均合成速度 [g/min]} = \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx$$

【0066】が最大となるように設計することがポイントである。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、多孔質ガラス母材合成用バーナのガラス原料ガスノズルを1列に配置し、その列の方向を、ターゲットまたはバーナが移動する方向と同じにしたので、(i)出発母材であるターゲットが細い場合、原料ガスノズル径が大きすぎるために、原料ガスがターゲットに当たらず逃げてしまうという不都合を回避できると共に、(ii)逆に、原料ノズル径が小さすぎる場合、ガスの流れが大きくなりすぎ、原料ガスノズルから噴出した原料ガスが加水分解反応する距離が小さくなり、合成速度が飽和し堆積効率を低下させる、という不都合を回避することができる。

【0068】従って、本発明のバーナを使用することにより、堆積効率及び合成速度を向上させて、作業時間（堆積時間）の短縮を図ることができる。

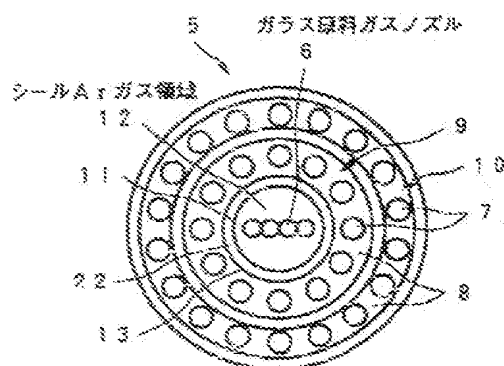
【0069】また、堆積効率が向上したことで、反応チャンバに浮遊したガラス微粒子の再付着がなくなり、気泡やクラックの発生がない光ファイバ用母材を製造することができる。

【0070】また、このような構成にすることにより、複数の原料ガスノズルの内径を、初期ターゲット径から最終径まで堆積したとき、平均合成速度が最大となるように設計することができる。

【0071】また、上記一列配置の複数本のガラス原料ガスノズルを一括して不活性ガスノズルの内部に設置したので、各ガラス原料ガスノズルで生成されたガラス微粒子がバーナ先端に付着するのを一括して防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】



【図1】本発明の多孔質ガラス母材合成用バーナの構造を示す図である。

【図2】本発明の多孔質ガラス母材合成用バーナによるスート径と合成速度の関係を示す図である。

【図3】本発明の多孔質ガラス母材合成用バーナの他の構造例を示す図である。

【図4】本発明の多孔質ガラス母材の製造方法で採用した外付けVAD法の概要を示す図である。

【図5】図4の製造方法における飽和スート径と飽和合成速度の関係を示すグラフである。

【図6】比較用に作成された多孔質ガラス母材合成用バーナの構造を示す図である。

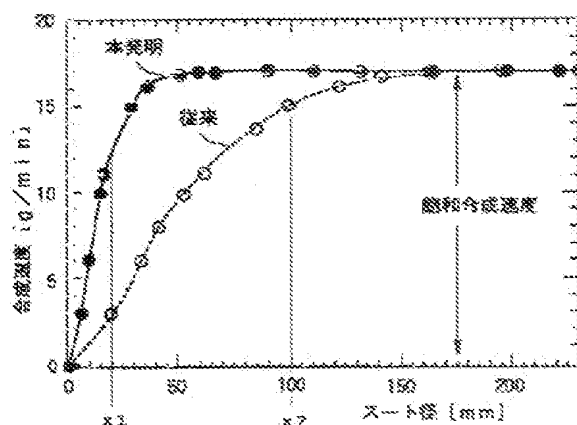
【図7】図6の構造を持つ比較用バーナの特性を、その中心のガラス原料ガスノズルの径の変化をパラメータとして示した図である。

【図8】図7の特性から導き出される理想的なバーナ特性の方向性を示す図である。

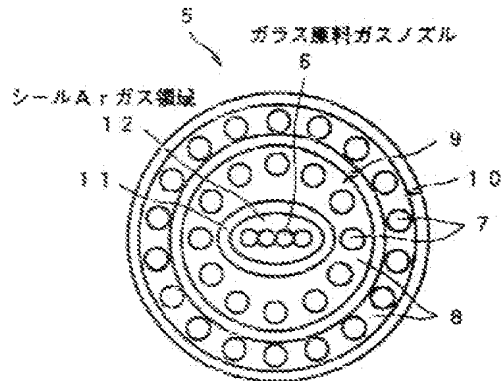
【符号の説明】

- 2 ガラスターゲット棒
- 3 多孔質スート母材
- 4 火炎
- 5 バーナ
- 6 ガラス原料ガスノズル
- 7 酸素ノズル
- 8 ポート（隙間）
- 9 内側層ノズル
- 10 外側層ノズル
- 11, 13 不活性ガスノズル
- 12 シールArガス領域

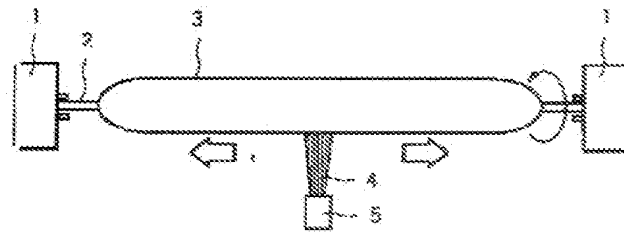
【図2】



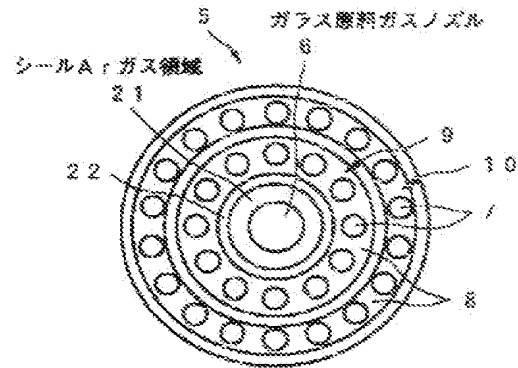
【図3】



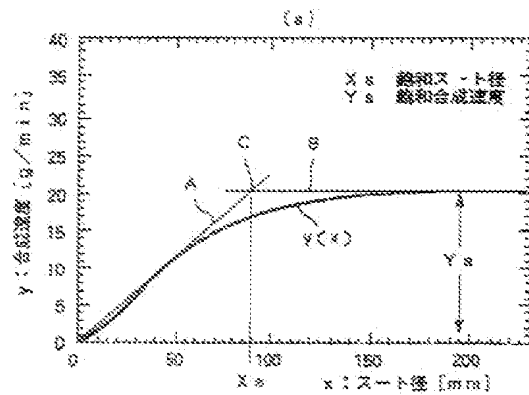
【図4】



【図6】



【図5】



【図7】

